

VI. 傾斜面でのリバウンドジャンプにおける腓腹筋のstiffnessがアキレス腱張力に及ぼす影響（研究課題2）

1. 目的

リバウンドジャンプのようなパリスティックな伸張－短縮サイクル (Stretch-Shortening Cycle; SSC) 運動は、伸張性収縮から短縮性収縮への移行が素早く行われるために、弾性エネルギーを有効に利用できる (Thys et al., 1975)。特に、弾性エネルギーの貯蔵・再利用には、腱の役割が重要であることから (Bobbert et al., 1986b)，アキレス腱が付着している足関節は、リバウンドジャンプのパフォーマンスの向上に大きく貢献していると考えられる。また、リバウンドジャンプは、下肢の3関節の中でも、足関節に作用する腓腹筋－アキレス腱複合体 (Gastrocnemius Muscle-Achilles Tendon Complex; MTC) が発揮したトルクによる負の仕事が大きいことが認められている (図子・高松, 1995b; Bobbert et al., 1987)。これらのことから、リバウンドジャンプは、MTCの構造的および機能的な特徴を大きく反映する跳躍運動であると考えられる。

リバウンドジャンプは、代表的なプライオメトリックトレーニング手段の一つである。これをトレーニング手段として効果的に用いるためには、MTCの解剖学的な構造や機能を考慮に入れて、MTCのトルク発揮特性を理解しておくことが重要である。リバウンドジャンプは、接地時に主働筋である腓腹筋に伸張

性収縮による負荷（伸張負荷）がかかるためにstiffnessを効果的に強化できる。stiffnessは、発揮された力のレベルを反映するものであると考えられている（van Ingen Schenau, 1984）。実際のトレーニングでは、伸張反射機構を有効に機能させることによって、いかに合目的的に筋stiffnessの強化を図るかが重要な課題となる。伸張反射は、活動筋の伸張量や伸張速度に影響されることから（Aura and Komi, 1986），傾斜面、特に上向き斜面でのリバウンドジャンプは、これらの課題を解決するのに適したトレーニング手段の一つになると考えられる。

著者らは、上述の知見を踏まえて、健常者（尹ら, 1997）および大学陸上競技跳躍および投てき競技者（尹ら, 1998）を対象として、傾斜面でのリバウンドジャンプにおける腓腹筋のstiffnessレベルを、アキレス腱と腓腹筋の伸張比（LAT/LGAS）を用いて検討してきた。この理由として、筋stiffnessは、外的な張力に抗して筋長の変化を小さくすることから（Morgan, 1977）、腱と筋の伸張比を用いることによって、筋stiffnessレベルを推定できることがあげられる（Lieber, 1992）。

一方、SSC運動における活動筋の伸張は、筋stiffnessを高めることができ（Edman et al., 1982; Cavagna et al., 1975），それは主運動局面である短縮局面の仕事量を大きくしていると考えられる。短縮局面の仕事量は、伸張局面から短縮局面に切り替わる時点の力に影響されている（van Ingen Schenau et al., 1997; 高松ら, 1988）。したがって、足関節の貢献度が大きいリバウンドジャンプをより効果的に遂行するためには、伸張局面から短縮局面に切り替わる時点（踏切中点）のアキレス腱張力（ATFMID）を大きくすることが重要になると考えられる。

アキレス腱には、足底屈筋である腓腹筋およびヒラメ筋が付着している。しかし、これらの筋の組織化学的な特徴は大きく異なり、前者は後者と比較して速筋線維が多いことが報告されている (Gollnick et al., 1973)。また、ヒラメ筋は単関節筋であるのに対して、腓腹筋は足関節と膝関節にまたがっている二関節筋であり、大きな速度と力が要求される跳躍運動中には、腓腹筋が選択的に動員されるという報告がある (Moritani et al., 1990)。したがって、バリスティックな跳躍運動であるリバウンドジャンプでは、腓腹筋はヒラメ筋と比較して、アキレス腱張力に対する貢献が大きいものと考えられる。

そこで本研究では、傾斜面でのリバウンドジャンプにおける腓腹筋のstiffnessがアキレス腱張力に及ぼす影響を明らかにするために、LAT/LGASとATFMIDとの関係を検討した。

2. 方法

(1) 被験者

被験者には、大学男子陸上競技跳躍および投てき競技者5名（年齢：22.2±0.4歳、身長：180.3±6.0cm、体重：74.3±7.7kg、下腿長：41.7±2.2cm），および男子健常者6名（年齢：27.0±3.8歳、身長：172.7±5.1cm、体重：69.7±4.7kg、下腿長：41.6±2.8cm）の計11名を用いた。

跳躍競技者3名の種目は、走高跳、棒高跳、三段跳であり、自己記録は順に2m18, 5m45, 16m61であった。また、投てき競技者2名の種目は槍投げであり、自己記録は70m72, 73m97であった。本研究で用いた健常者は、以前、運

動競技部に所属した経験のある体育を専攻する大学院生であり、専門的な跳躍トレーニングを行った経験はなかった。

実験を開始するにあたり、全ての被験者に本研究の目的、方法および実験に伴う危険性などを十分に説明し、実験参加に対する同意を得た。なお、各被験者における傾斜面でのリバウンドジャンプのトレーニング経験および熟練度には、それぞれ個人差があったために、事前に十分な練習を行わせた。

(2) 実験運動

被験者には、典型的なSSC運動であるその場でのリバウンド型5回連続ジャンプ (5RJ) を、上向き斜面8度 (U8)、平地面 (L)、下向き斜面8度 (D8) の傾斜ボックス上で行わせた。それぞれの傾斜条件での5RJを遂行する際には、できるだけ傾斜ボックスの中心部分に着地するように指示を与えた。身体の前後移動が大きいことなど、実験条件を満たさなかった場合には再度行わせた。試技は、いずれも腕の振込の影響をなくすために手を腰に当てた姿勢で、踏切時間をできるだけ短くして、できるだけ高く跳ぶように指示して行わせた。いずれの着地面においても数回の試技を行わせ、そのなかで最も跳躍高の高かった試技のみを分析対象とした。なお、着地面の傾斜角度の試技順序は、全ての被験者においてランダムに行わせ、試技間には十分な休息をとらせた。

(3) 分析項目および分析方法

本研究では、すべての跳躍試技を、被験者の左側方に設置した高速度ビデオカメラ (Nac社製、HSV-400) を用いて、毎秒200コマで撮影した。それと同時に、地面反力をフォースプラットフォーム (Kistler社製、9281 type) を用いて

測定した。

地面反力のデータをもとにして、踏切時間および滞空時間を求めた。跳躍高 (JH) は、式 $[JH=1/8 \cdot g \cdot FT^2]$ に滞空時間 (FT) および重力加速度 ($g=9.81 \text{ m/s}^2$) を代入することによって算出した (Asmussen and Bonde-Petersen, 1974)。さらに、このデータをもとにして、鉛直方向における踏切中点の地面反力 (GRFMID) を求めた。

得られたビデオ画像をもとにして、まず、身体計測点および較正マークの2次元座標を1コマおきに読み取り、身体計測点の座標値を実長換算した。そして次に、実長換算した身体座標値の最適遮断周波数をWells and Winter (1980) の方法にもとづいて決定し、Butterworth Low-Pass Digital Filterを用いて平滑化した。なお、決定された身体の各分析点の最適遮断周波数は、1–7 Hzの範囲内であった。本研究では、この平滑化した身体座標値を用いて、股関節、膝関節および足関節の関節角度を算出した。関節トルクは、阿江ら (1992) の身体部分係数を用いて求めた足、下腿、大腿の質量、質量中心位置および慣性モーメントを、それら4個の剛体からなるリンクセグメントモデルに入力して算出した (Winter, 1990)。なお、傾斜面上での力の作用点は、尹ら (1999b) の方法にもとづいて算出した。

アキレス腱張力 (ATF) は、足関節トルクをモーメントアームで除することによって求めた (Fukashiro et al., 1993)。モーメントアームは、Grieve et al. (1978) のモデルをもとにして求めた (Bobbert et al., 1986)。

腓腹筋-アキレス腱複合体の長さ変化 ($\Delta LMTC$) は、画像データから得られた膝関節および足関節の角度変位を、Grieve et al. (1978) のモデルに入力して求めた。 $\Delta LMTC$ のうち、アキレス腱の長さ変化 (ΔLAT) はアキレス腱の応力

一ひずみ関係を示す式 [$ATF = k (\Delta LAT)^2$] を用いて求め (van Ingen Schenau, 1984)、腓腹筋の長さ変化 ($\Delta LGAS$) は $\Delta LMTC$ から ΔLAT を差し引くことによって求めた (Fukashiro et al., 1995)。なお、式の弾性定数を示す k は、Voigt et al. (1995a, 1995b) による推定方法に従って求めた。

伸張局面におけるMTC ($LMTC$)、アキレス腱 (LAT) および腓腹筋 ($LGAS$) の伸張量は、踏切中点の長さ変化量から接地時の長さ変化量を差し引くことによって求めた。

(4) 統計処理

各測定項目における平均値の有意差検定を行った。被験者全員における傾斜面間の有意差検定には一元配置の分散分析を用い、F値が有意であった項目についてはさらに多重比較を行った。また、相関係数はピアソンの方法を用いて算出した。なお、統計処理の有意性は危険率5%および1%水準で判定した。

3. 結果

(1) 踏切局面における腓腹筋ーアキレス腱複合体、アキレス腱および腓腹筋の長さ変化曲線

図21に、典型的な1名の被験者における $\Delta LMTC$ 、 ΔLAT および $\Delta LGAS$ の曲線を示した。U8、LおよびD8のいずれの試技においても $\Delta LMTC$ 、 ΔLAT および $\Delta LGAS$ は、接地後伸張し、短縮していた。また、U8はLと比較して、腓腹筋の伸張量が小さい傾向にあった。

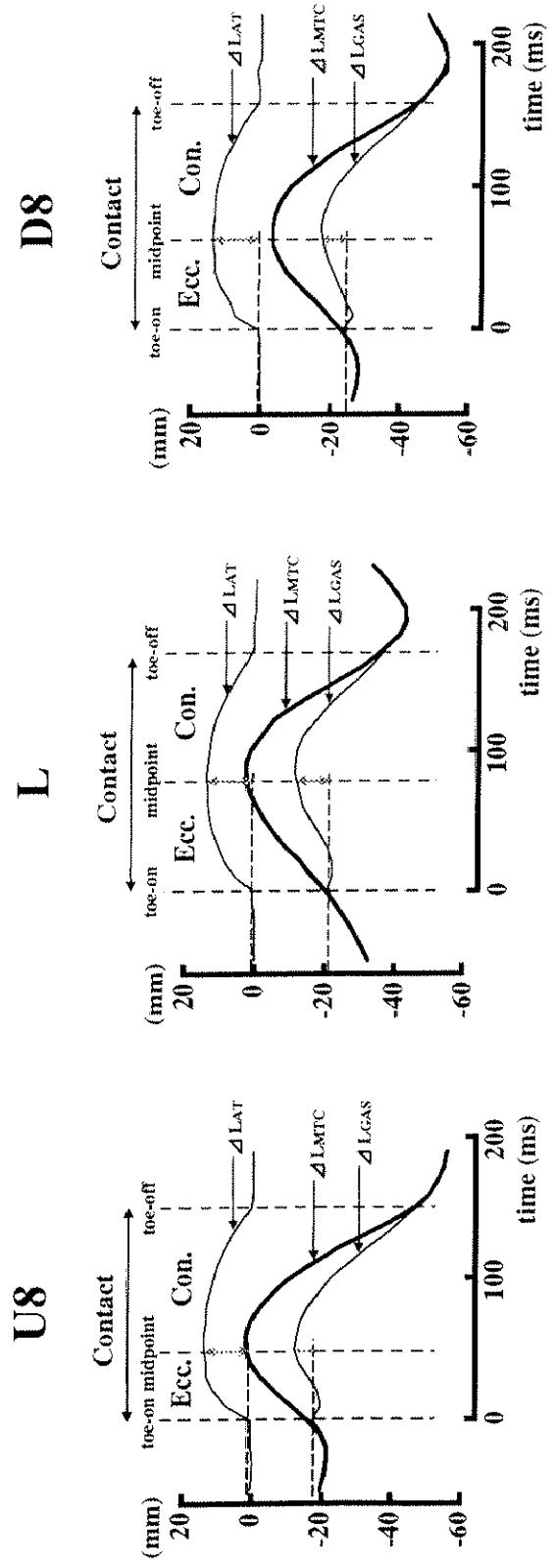


Figure 21 Typical examples of length change of muscle-tendon complex ($\Delta LMTC$),
m. gastrocnemius ($\Delta LGAS$), and Achilles tendon (ΔLAT) in 5RJ .
 $\Delta LMTC$ is $\Delta LGAS$ plus ΔLAT .

(2) 跳躍高, 踏切時間, 踏切中点のアキレス腱張力, 伸張局面における腓腹筋ーアキレス腱複合体の伸張量, およびアキレス腱と腓腹筋の伸張比

表10に, 跳躍高, 踏切時間, ATF_{MID} , L_{MTC} および $LAT/LGAS$ を示した. これらの分析項目には, 傾斜面間に統計的な有意差は認められなかった. しかし, 被験者全員の平均値でみた場合には, U8およびLはD8と比較して, 跳躍高は高く, 踏切時間は長い傾向を示した. ATF_{MID} は, U8が最も大きい傾向にあった. また, U8およびD8はLと比較して, L_{MTC} は小さく, $LAT/LGAS$ は大きい傾向にあった.

(3) 踏切中点の地面反力と跳躍高および踏切時間との関係

図22に, 踏切中点の地面反力 (GRF_{MID}) と跳躍高および踏切時間との関係を示した. GRF_{MID} と跳躍高との間には, U8 ($r=0.792$, $p<0.01$), L ($r=0.769$, $p<0.01$) およびD8 ($r=0.602$, $p<0.05$) ともに有意な正の相関関係が認められた. また, GRF_{MID} と踏切時間との間には, U8 ($r=-0.841$, $p<0.01$), L ($r=-0.911$, $p<0.01$) およびD8 ($r=-0.817$, $p<0.01$) ともに有意な負の相関関係が認められた.

(4) 踏切中点のアキレス腱張力と跳躍高および踏切時間との関係

図23に, ATF_{MID} と跳躍高および踏切時間との関係を示した. ATF_{MID} と跳躍高との間には, U8 ($r=0.638$, $p<0.05$), L ($r=0.839$, $p<0.01$) およびD8 ($r=0.611$, $p<0.05$) ともに有意な正の相関関係が認められた. しかし, ATF_{MID} と踏切時間との間には, U8 ($r=-0.873$, $p<0.01$) およびL ($r=-0.917$, $p<$

Table 10. Jumping height, contact time, achilles tendon force at midpoint (ATFMID), muscle-tendon complex length change (LMTC) and ratio of achilles tendon length change to m.gastrocnemius length change (LAT/LGAS) during eccentric phase in 5RJ.

	Inclination	n	Jumping height (m)	Contact time (s)	ATFMID (N / kg)	LMTC (mm)	LAT / LGAS
athletes	U8	5	0.419 ± 0.078	0.151 ± 0.010	89.3 ± 12.2	20.6 ± 6.2	4.29 ± 1.37
	L	5	0.438 ± 0.070	0.152 ± 0.018	85.8 ± 17.9	20.4 ± 7.7	3.04 ± 1.12
	D8	5	0.390 ± 0.065	0.144 ± 0.020	67.2 ± 14.7	18.3 ± 6.0	3.37 ± 1.56
active males	U8	6	0.348 ± 0.020	0.172 ± 0.015	71.5 ± 12.7	23.7 ± 5.9	2.31 ± 0.72
	L	6	0.332 ± 0.023	0.175 ± 0.017	68.9 ± 11.2	29.2 ± 5.4	1.38 ± 0.45
	D8	6	0.329 ± 0.035	0.165 ± 0.012	70.1 ± 4.4	22.7 ± 6.0	1.98 ± 0.70
Total	U8	11	0.380 ± 0.063	0.161 ± 0.018	79.6 ± 15.1	22.3 ± 6.0	3.21 ± 1.44
	L	11	0.380 ± 0.073	0.165 ± 0.021	76.6 ± 16.4	24.8 ± 8.0	2.13 ± 1.17
	D8	11	0.356 ± 0.058	0.156 ± 0.019	68.8 ± 9.9	20.7 ± 6.2	2.62 ± 1.32
F-value			0.496	0.624	1.716	1.004	1.844
Difference			ns	ns	ns	ns	ns

Values are mean ± SD

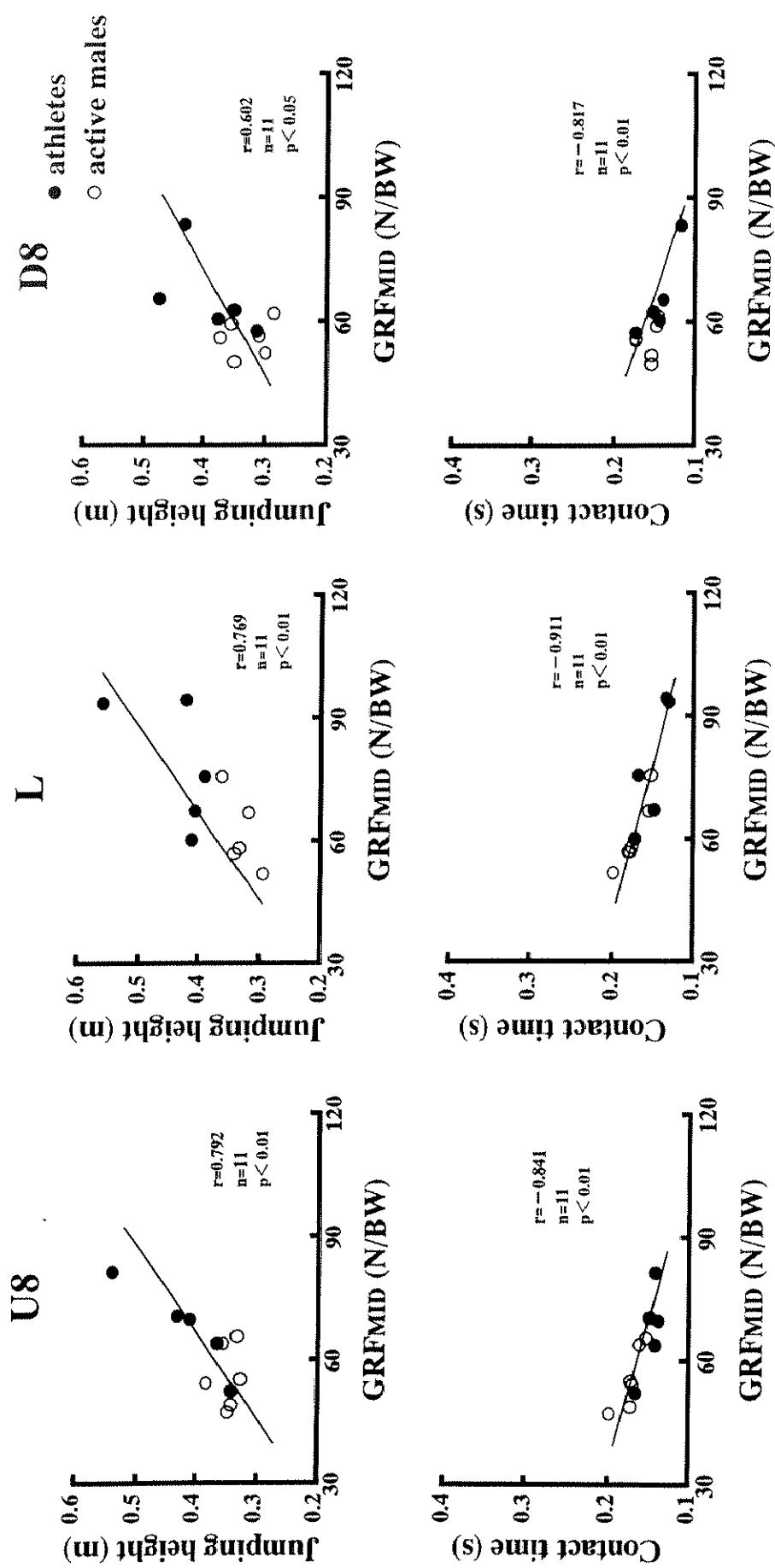


Figure 22 Relationship of ground reaction force at midpoint (GRFMID) with jumping height and with contact time in 5RJ.

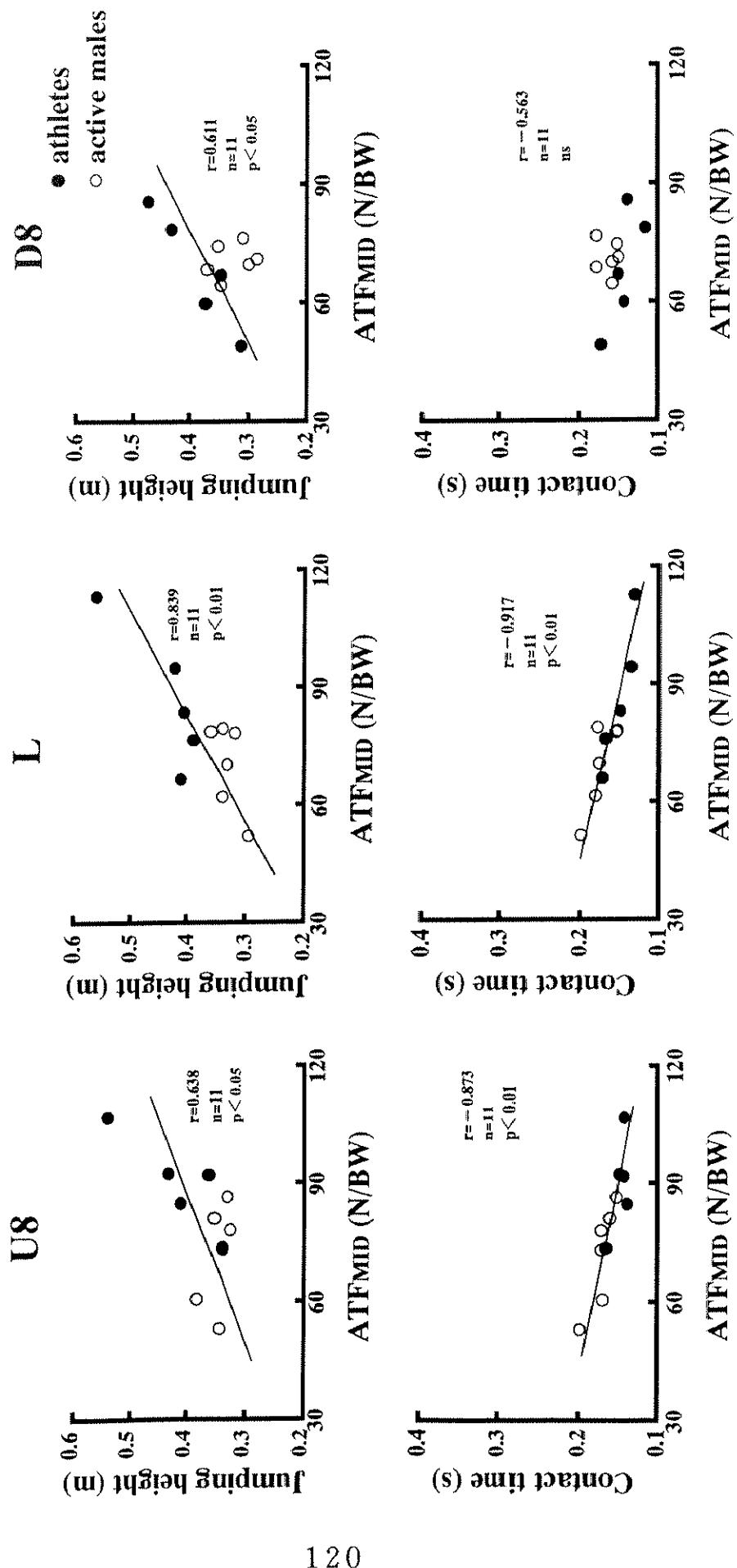


Figure 23 Relationship of achilles tendon force at midpoint (ATFMID) with jumping height and with contact time in 5RJ.

0.01)において有意な負の相関関係が認められたが、D8では有意な相関関係が認められなかった。

(5) 踏切中点の地面反力とアキレス腱張力との関係

図24に、GRFMIDとATFMIDとの関係を示した。GRFMIDとATFMIDとの間にU8 ($r=0.898$, $p<0.01$) およびL ($r=0.872$, $p<0.01$)において有意な正の相関関係が認められたが、D8では有意な相関関係が認められなかった。

(6) 伸張局面における腓腹筋-アキレス腱複合体の伸張量およびアキレス腱と腓腹筋の伸張比と踏切中点のアキレス腱張力との関係

図25に、LMTCおよびLAT/LGASとATFMIDとの関係を示した。LMTCとATFMIDとの間には、U8 ($r=-0.782$, $p<0.01$) およびL ($r=-0.602$, $p<0.05$)において有意な負の相関関係が認められたが、D8では有意な相関関係が認められなかった。また、LAT/LGASとATFMIDとの間には、U8 ($r=0.875$, $p<0.01$) およびL ($r=0.686$, $p<0.05$)において有意な正の相関関係が認められたが、D8では有意な相関関係が認められなかった。

(7) 接地時点および踏切中点の足関節角度および伸張局面における足関節角度変位

表11に、接地時点 (toe-on) および踏切中点 (midpoint) の足関節角度および伸張局面における足関節角度変位を示した。これらの分析項目には、傾斜面間に統計的な有意差は認められなかった。しかし、被験者全員の平均値でみた場合には、接地時点の足関節角度はU8からD8へ変わるために大きくなり、踏

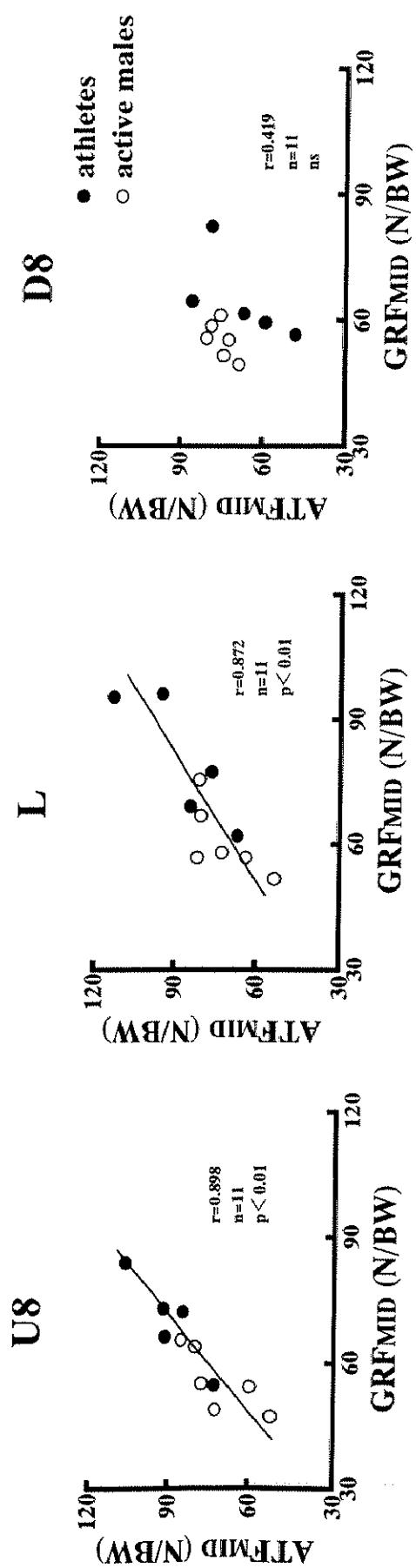


Figure 24 Relationships between ground reaction force at midpoint (GRFMID) and Achilles tendon force at midpoint (ATFMID) in 5RJ.

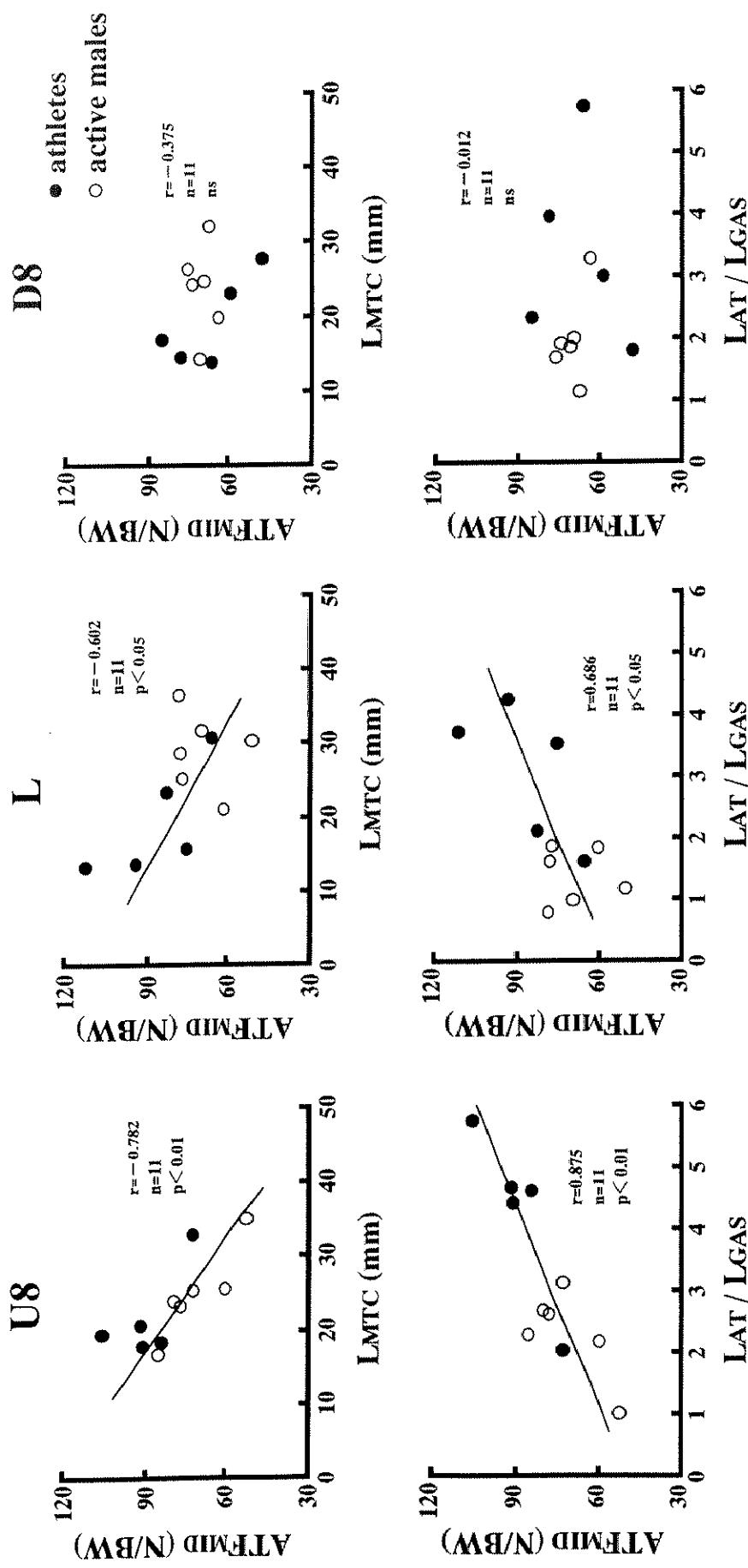


Figure 25 Relationships of muscle-tendon complex length change (LMTC) and ratio of Achilles tendon length change to m. gastrocnemius length change (LAT/LGAS) during eccentric phase with achilles tendon force at midpoint (ATTFMD) in 5RJ.

Table 11. Ankle joint angle at toe-on, midpoint and displacement during eccentric phase in 5RJ.

	Inclination	n	toe-on (deg)	midpoint (deg)	displacement (deg)
athletes	U8	5	132.8 ± 7.1	107.7 ± 7.6	25.1 ± 9.7
	L	5	134.1 ± 12.1	109.1 ± 7.0	24.9 ± 10.5
	D8	5	136.4 ± 11.0	115.0 ± 5.8	21.4 ± 10.1
active males	U8	6	133.1 ± 4.9	102.6 ± 6.9	30.5 ± 9.4
	L	6	136.4 ± 3.8	99.5 ± 9.1	36.9 ± 7.0
	D8	6	137.9 ± 8.5	108.5 ± 4.8	29.3 ± 6.9
Total	U8	11	133.0 ± 5.7	104.9 ± 7.4	28.1 ± 9.4
	L	11	135.4 ± 8.2	103.9 ± 9.3	31.4 ± 10.4
	D8	11	137.2 ± 9.2	111.5 ± 6.0	25.8 ± 9.0
F-value			0.806	3.164	0.970
Difference		ns	ns	ns	ns

Values are mean ± SD

切中点の足関節角度はD8が最も大きく、U8およびLはほぼ同じ値を示す傾向にあった。また、伸張局面における足関節角度変位はD8が最も小さく、LはU8と比較して若干大きい値を示す傾向にあった。

4. 考察

一般に、筋のパワー出力はSSC運動によって高まる。このように高いパワーが発揮できる理由として、跳躍運動では、反動動作中に直列弾性要素である腱に貯蔵された弾性エネルギーが短縮局面で再利用されることがあげられる（Farley, 1997）。伸張局面に貯蔵された弾性エネルギーは、踏切中点、すなわち伸張性収縮から短縮性収縮に切り替わる時点の地面反力（GRF_{MID}）によって決まる（Bobbert et al., 1996）。このことは、U8, LおよびD8のいずれの試技においても、GRF_{MID}と跳躍高との間に有意な正の相関関係が認められたことからも推察できる（図22）。したがって、足関節の貢献度が大きいリバウンドジャンプにおいても、弾性エネルギーを再利用し、跳躍高を高めるためには、着地面の傾斜に関係なく、GRF_{MID}を大きくすることは極めて重要な要因の一つであると考えられる。

ところで、このような足関節の貢献度が大きいリバウンドジャンプでは、ATF_{MID}がどのような役割を果たしているのかについては興味のあるところである。そこで本研究では、最初にU8, LおよびD8におけるATF_{MID}と跳躍高を比較し、ついでATF_{MID}と跳躍高との関係、およびATF_{MID}とGRF_{MID}との関係について検討した。その結果、被験者全員の平均値でみた場合には、D8はU8およびL

に比較して、ATFMIDは小さく、跳躍高は低い傾向が認められた（表10）。また、ATFMIDと跳躍高との間には、U8, LおよびD8のいずれの試技においても有意な正の相関関係が認められたが（図23），ATFMIDとGRFMIDとの間には、D8においてのみ有意な正の相関関係は認められなかった（図24）。これらの結果は、着地面の傾斜に関係なく、ATFMIDはリバウンドジャンプの跳躍高を高めるための重要な要因の一つになることを示すものである。しかし、下向き斜面のように、ATFMIDを大きくできなかつたり、あるいはATFMIDとGRFMIDとの間に有意な相関関係が認められなかつたことを考慮すれば、着地面の傾斜によってアキレス腱にかかる負荷は異なることが推察される。この原因の一つとして、傾斜面に沿って上向きに作用する摩擦力が、上向き斜面および下向き斜面の相違によって生じる足関節トルクの差に影響を及ぼした可能性が考えられるが、このことについては今後さらに検討する必要がある。

一方、リバウンドジャンプでは、接地時に身体の落下による運動エネルギーを受け止めるために足関節は背屈し、膝関節は屈曲する。そのことによって、MTCは素早く伸張する。しかし、MTCが伸張されたとしても、腓腹筋のstiffnessの大きさによって、MTCを構成する腓腹筋およびアキレス腱の伸張量は異なるものと考えられる。Kurokawa et al. (1997) は、垂直跳におけるMTCの動態を超音波断層法を用いて検討した。その結果、動作の前半局面において筋は短縮性の収縮を行い、この時の張力によって腱は引き伸ばされ（MTC全長は一定），また後半局面において筋は等尺性に張力を発揮し、この間に引き伸ばされていた腱が短縮するときのエネルギーを利用して垂直跳が行われると報告した。本研究において腓腹筋は典型的なSSC収縮を行っていたが（図21），Kurokawa et al. (1997) の研究結果を基にすると、リバウンドジャンプにおける

るSSC運動の有効性を十分に引き出すためには、伸張局面において腓腹筋のstiffnessを高めることによってアキレス腱を伸張させ、弾性エネルギーの貯蔵・再利用機構を効果的に機能させることが重要であると考えられる。

そこで本研究では、傾斜面でのリバウンドジャンプにおける腓腹筋のstiffnessレベルを、LAT/LGASを用いて検討した（Lieber, 1992）。その結果、被験者全員の平均値でみた場合には、U8およびD8はLと比較して、LAT/LGASが大きい傾向にあった（表10）。このことは、傾斜面での試技は平地面と比較して、腓腹筋のstiffnessが高まる可能性のあることを示唆するものと考えられる。しかし前述したように、ATFMIDは、U8が大きく、D8は小さい傾向を示した（表10）。したがって、着地面が上向き斜面か下向き斜面かによって、LAT/LGASが大きくなってしまってもアキレス腱にかかる張力は異なる可能性のあることが推測される。本研究ではこの可能性を検討するために、LAT/LGASとATFMIDとの関係について検討した。その結果、両者の間には、U8およびLでは有意な正の相関関係が認められたが、D8では認められなかった（図25）。このことは、上向き斜面や平地面では、LAT/LGASを大きくすることがATFMIDを大きくするための重要な条件になることを示唆するものである。なお下向き斜面では、LAT/LGASを大きくしてもATFMIDは必ずしも大きくならないことが認められた。この原因として、下向き斜面では上向き斜面および平地面と比較して、接地後足関節の背屈動作が制限されるために、MTC全長に大きな伸張負荷がかからなかつたこと、および膝関節の仕事の貢献度が大きいことから、腓腹筋が足関節の底屈よりも膝関節の屈曲に優先的に作用していること（尹ら, 1997）などの可能性が考えられるが、これらについては今後さらに検討する必要がある。

本研究では、当初、U8はLおよびD8と比較して、MTC全長の伸張量を大きく

することによって、伸張反射機構を有効に機能させ、腓腹筋のstiffnessおよびアキレス腱張力を高めることができるのではないかと考えていた。しかし、U8はLおよびD8と比較して、LAT/LGASおよびATFMIDは大きい傾向にあったが、MTCの伸張量はLよりも小さい傾向を示した（表10）。また、U8およびLでは、LMTCとATFMIDとの間に有意な負の相関関係が認められた（図25）。これらのこととは、上向き斜面および平地面では、腓腹筋のstiffnessが高まることによって筋長の変化が小さくなり、その結果、MTC全長の伸張量を小さくして、ATFMIDを大きくできたことを示すものである。また、上向き斜面のようにMTCが伸張されるような条件下でリバウンドジャンプを行ったとしても、腓腹筋のstiffnessを平地面より大きくできることによって筋長の変化をさらに小さくし、それがMTC全長の伸張量を小さくして、ATFMIDを大きくするのに有効に作用していることを示すものである。

上述のように、U8はLに比較してMTCの伸張量が小さい傾向にあることが認められた。本研究では、これを間接的に証明するために、接地時点および踏切中点における足関節角度および伸張局面における足関節角度変位を比較した。その結果、被験者全員の平均値でみた場合には、U8はLと比較して、足関節角度が同じか若干背屈した状態で接地する傾向のあること、および足関節角度変位も若干小さい傾向のあることが認められた（表11）。ドロップジャンプでは、接地時に大きな衝撃が加わるので、この衝撃を受け止め吸収するためには、足関節まわりの筋群の予備緊張を高め、できるだけ背屈した状態で接地することが望ましいと言われている（図子・高松、1996）。したがって、これらのことを基にすると、上向き斜面では、足関節がより背屈した状態で接地できるので、大きな衝撃に対応できる可能性のあること、および素早く底屈動作に

移ることができるので、MTCが過度に伸張されない可能性のあることなどが推察される。また、このことは、図26に示した典型的な1名の被験者における足関節の角度変位曲線からも推察される。すなわち、U8はLに比較して、接地してから底屈動作を開始するまでに要する時間が短いことが認められる。

上述の結果は、リバウンドジャンプでのMTCを構成する筋および腱の伸張量は、着地面の傾斜角度によって異なることを示すものである。本研究の結果を基にすると、上向き斜面は平地面と同じかそれ以上に、LAT/LGASを大きくしてLMTCを小さくすることによって、ATFMIDを大きくできる可能性が認められた。ATFMIDはGRFMIDと有意な正の相関関係があり、それらは跳躍高と有意な正の相関関係があることを考慮すると、プライオメトリックトレーニング手段の一つとしてリバウンドジャンプを用いる際には、平地面に加えて上向き斜面で行うことも推奨される。しかし、そのためには、上向き斜面および平地面でのリバウンドジャンプを用いたトレーニング実験を通して、LAT/LGASやLMTCなどにどのような差異が生じるのかについてさらに検討することが必要である。また、本研究では、全ての被験者において一定の弾性定数を用いてアキレス腱の長さ変化を推定していることから、今後MRI（核磁気共鳴画像法）を用いてアキレス腱の長さおよび横断面積を個人ごとに測定することも必要である。

5. 要約

本研究では、傾斜面でのリバウンドジャンプにおける腓腹筋のstiffnessがアキレス腱張力に及ぼす影響を明らかにするために、LAT/LGAS(アキレス腱と腓腹

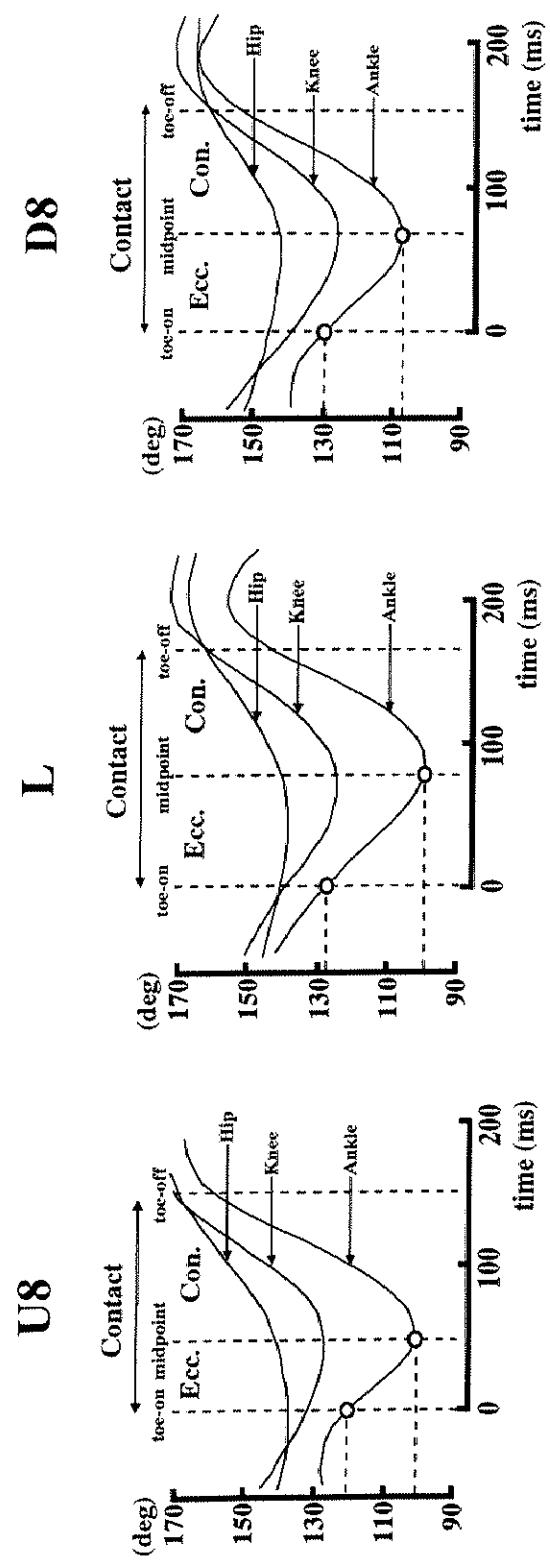


Figure 26 Typical examples of angular displacement at the hip, knee and ankle joints in 5RJ.

筋の伸張比) とATFMID (踏切中点のアキレス腱張力)との関係について検討した。5名の大学男子陸上競技跳躍および投てき競技者、および6名の男子健常者に、その場でのリバウンド型5回連続ジャンプをU8 (上向き斜面), L (平地面) およびD8 (下向き斜面) の3つの着地面で行わせた。

本研究のおもな結果は以下の通りである。

①跳躍高はU8およびLがD8と比較して高い傾向にあった。ATFMIDはU8が大きい傾向にあった。また、U8およびD8はLと比較して、LMTC (腓腹筋ーアキレス腱複合体の長さ変化) は小さく、LAT/LGASは大きい傾向にあった。

②U8, L, D8のいずれにおいても、GRFMID (踏切中点の地面反力) およびATFMIDと跳躍高との間に有意な正の相関関係が認められた。

③U8およびLでは、GRFMIDとATFMIDとの間およびLAT/LGASとATFMIDとの間に有意な正の相関関係が認められた。また、LMTCとATFMIDとの間に有意な負の相関関係が認められた。

上述の結果は、上向き斜面および平地面では、腓腹筋のstiffnessを高めることによって、アキレス腱張力を大きくできることを示唆するものである。また、上向き斜面は平地面と同じかそれ以上に、LAT/LGASを大きくでき、その結果、MTCの伸張量を小さくしても、ATFMIDを大きくできる可能性も示唆するものである。